

窄禁带 $\text{Hg}_{0.79}\text{Cd}_{0.21}\text{Te}$ 的红外光致发光*

常 勇 王晓光 唐文国 褚君浩

TN304.26

(中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海, 200083)

摘要 对常规傅里叶变换发光测量方法进行改进, 引入双调制技术, 消除了室温背景黑体辐射在 $4\mu\text{m}$ 至 $5\mu\text{m}$ 以上区域对光致发光测量带来的严重干扰, 在 $10\mu\text{m}$ 红外波段得到了组分 $x=0.21$ 窄禁带 HgCdTe 的光致发光光谱, 对光谱的主要结构也进行了指认, 发现存在于这种材料中的 4meV 的杂质能级, 其来源是材料中的浅杂质。

关键词 光致发光, HgCdTe , 窄禁带半导体。

红外光致发光

INFRARED PHOTOLUMINESCENCE FROM NARROW GAP $\text{Hg}_{0.79}\text{Cd}_{0.21}\text{Te}$ *

CHANG Yong WANG Xiao-Guang TANG Wen-Guo CHU Jun-Hao

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The double modulation technique with an attached high frequency modulation and lock-in measuring method added to the normal Michelson modulation was induced in normal Fourier transform infrared luminescence measurements, to eliminate the huge influences from the room temperature background blackbody emission. The photoluminescence spectra in the range of $10\mu\text{m}$ from narrow gap $\text{Hg}_{0.79}\text{Cd}_{0.21}\text{Te}$ bulk sample, which consist of the luminescence from the radiative recombinations of band to band and shallow impurity level to band were obtained. The shallow impurity level of 4meV was hereby determined.

Key words photoluminescence, HgCdTe , narrow gap semiconductor.

引言

HgCdTe 材料是一种较为理想的红外光学与光电子学材料, 具有许多作为良好的光电材料所须具备的特点^[1], 它又是一种直接带半导体材料, 通过调节 Cd 含量 x 的大小, 从 1.6eV ($0.775\mu\text{m}$) 向下连续地改变禁带宽度, 获得几乎可以覆盖整个红外区域的响应波长, 适合制成可适应各种需要的本征型红外探测器和激光器, 近几十年来一直是研究工作的热点, 其中 $x \approx 0.21$ 的 HgCdTe 材料, 其禁带宽度正好对应于 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 大气窗口响应波段, 是制造红外焦平面器件的重要材料, 光致发光技术是一项对材料, 尤其是半导体材料进行无损检测的经典手段. 80 年代中期以来, 基于迈克尔逊干涉技术的傅里叶变换红外光致发光检测技术逐渐发展起来, 它的多通道优点 (Fellgett 优点) 和高通量优点 (Jacquinot 优点)^[2,3] 决定性地弥补了在

红外波段使用的固体探测器探测率上的不足, 并克服了材料本身的俄歇过程与 Shockly-Read 过程等非辐射复合过程的影响, 从而在传统的单色分光测量几乎无法达到的领域作了大量的工作. 但在 $4 \sim 5\mu\text{m}$ ($2500 \sim 2000\text{cm}^{-1}$ 波数) 以上的中、长波红外区域, 由于室温背景黑体辐射的影响, 光致发光研究工作开展依然非常困难, 很强的室温背景红外黑体辐射信号使得测量无法获得实验结果. 发展一种能够消除背景热辐射的影响, 对可用于中、长波段红外工作的材料进行无损检测和评价的发光测量手段, 已是十分迫切的工作. 在傅里叶变换光谱仪的基础上, 建立了红外光致发光测量方法, 再进一步引入双调制技术, 消除了室温黑体辐射对光致发光测量的不利影响, 在 $10\mu\text{m}$ 以上室温背景黑体辐射很强区域, 得到了窄禁带半导体材料的光致发光光谱, 并通过对光致发光光谱的分析, 发现了在材料生长过程中引入的电离能 $\sim 4\text{meV}$ 的剩余浅杂

* 国家自然科学基金 (编号 61876042 和 69823002) 资助项目
稿件收到日期 2000-01-31, 修改稿收到日期 2000-03-06

* The project supported by the Chinese National Natural Science Foundation of China (No. 61876042, No. 69823002)
Received 2000-01-31, revised 2000-03-06

质,对材料生长工艺的改进提供了有益的参考。

1 实验

实验采用 Nicolet 800 傅里叶变换红外光谱仪,使用 KBr 分束片和光导型 HgCdTe 固体探测器.从 $4\sim 5\mu\text{m}$ ($2500\sim 2000\text{cm}^{-1}$ 波数)开始,黑体辐射信号迅速增强.对于窄禁带半导体,其自身的辐射复合几率远低于俄歇复合的几率,再加上窄禁带半导体材料自身往往具有较多的杂质、缺陷,通过这些杂质、缺陷所引入的深中心的 Shockly-Read 复合几率也很大,这些因素往往导致发光信号要比背景辐射信号弱 200 倍以上.为了消除室温背景黑体辐射的影响,对常规的傅里叶变换红外光致发光实验方法进行了改进,基本思想是采用双调制方法,即在傅里叶变换光谱仪迈克尔逊干涉仪调制的基础上,对用来激发的激光进行更高频率的调制,探测器探测到的光致发光信号经前放后,由锁相放大器解调制再放大,然后再送入傅里叶变换光谱仪中进行傅里叶变换得到光谱,这样,只有与激发光同频率且保持固定相位差的光致发光信号能被检出和放大,背景黑体辐射信号则被彻底压制掉.

双调制傅里叶变换红外光致发光测量设置如图 1 所示. Ar^+ CW 激光器产生的激光以布喇格角入声光调制器,经声光相互作用,产生随所加信号相应的偏转,取第一级衍射光束作为输出,使光的强度被调制器调制成高频方波输出.用这种被调制后的光激发放在致冷器中的样品,得到以相同频率变化的光致发光信号,为了消除光学红外材料的吸收、色散等的影响,发光选用抛物面镜收集,调节成平行光后送入傅里叶变换红外光谱仪,经迈克尔逊干涉仪调制,被红外探测器

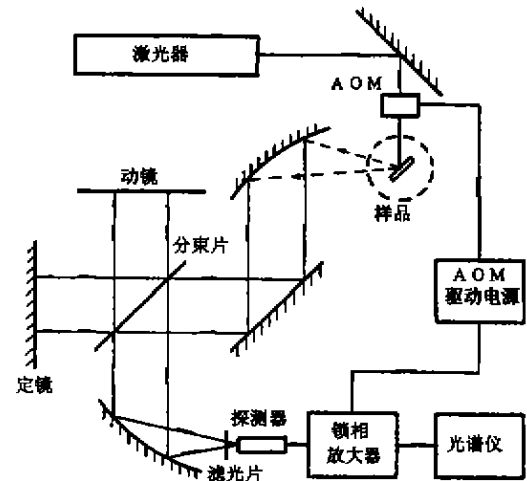


图 1 双调制 Fourier 变换红外光致发光测量系统原理

Fig. 1 Schematic diagram for the double modulation Fourier transform infrared photoluminescence system

探测.探测器的前放后接高频锁相放大器,声光调制器的调制信号作为参考信号也送入锁相放大器,这样背景黑体辐射信号被压制掉.对锁相放大器的输出再进行开关增益放大和滤波,最后经 A/D 转换,由计算机进行数据采集,接着进行相位校正、切割、傅里叶变换,从而得到消除背景辐射干扰的光致发光光谱.

实验中选用了带通滤波器以提高信噪比,在实际测量中,由于光致发光信号很弱,即使零相位点附近信号的信噪比也较低,导致了自动相位校正失效,这时可以选用手动相位校正^[4],使光谱数据都为正.

实验过程中,样品先经过溴-甲醇溶液腐蚀,然后

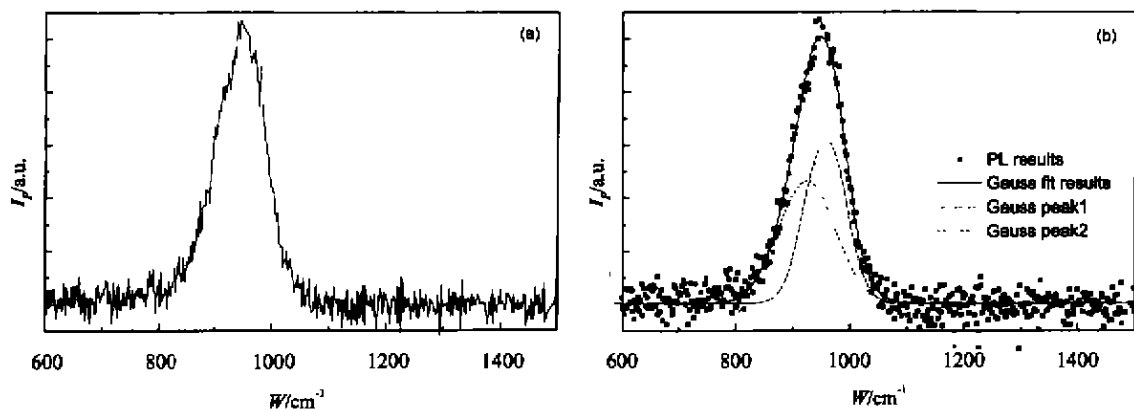


图 2 (a) 3.9K HgCdTe 体单晶样品的双调制红外光致发光光谱,
(b) 用两个高斯线型进行拟合计算的结果

Fig. 2 (a) The double modulation infrared photoluminescence spectrum for $\text{Hg}_{0.79}\text{Cd}_{0.21}\text{Te}$ bulk sample at 3.9K (b) the result for (a) fitted by two Gaussian functions

表1 图1所示光致发光峰的拟合计算结果
Table 1 The fitting results for the photoluminescence peak shown in Fig. 1

	峰位(cm^{-1})	峰宽(cm^{-1})
峰1	924	99
峰2	956	71

放入液氮致冷器中,实验温度可以从3.8K至室温连续调节。

2 结果与分析

图2为 $\text{Hg}_{0.79}\text{Cd}_{0.21}\text{Te}$ 样品在3.8K时 $10\mu\text{m}$ 附近通过双调制方法得到的红外光致发光光谱,其组分是采用晶片的红外吸收光谱确定的,由于实验样品较厚,将红外吸收光谱的Urbach指数带尾延伸到经验禁带宽度对应的吸收系数处^[5~7],加以确定,组分精度优于0.5%。如果仅采用常规的傅里叶光致发光手段,光致发光信号淹没在室温背景黑体红外辐射信号中无法检出,经过对实验系统的改进,不仅可以获得信噪比较高的光谱,而且光谱上约4meV浅施主能级引起的光致发光结构也可以分辨出来,进一步用2个高斯线型可以对其进行解谱,得到如表1所示的2个光致发光结构。

高能端的光致发光结构的能量位置靠近红外吸收光谱所得出的禁带宽度位置,对于小组分 HgCdTe ,激子俄歇复合寿命要小于辐射复合寿命许多^[8],可以将高能端的光致发光结构归于本征带带跃迁或者是涉及带尾态的带带跃迁,在低能侧的发光结构与高能侧峰位相差约为4meV,排除激子跃迁的可能性,这一结构为电子或空穴从杂质束缚态到连续态的辐射复合跃迁引起的,该能级对应的杂质电离能为4meV,比对霍尔效应测量结果^[9],认为这起因于材料生长中的残留杂质引入的浅能级。

3 结论

在傅里叶变换发光测量中引入双调制手段,得到

了室温背景黑体辐射很强的 $10\mu\text{m}$ 附近的光致发光光谱,观察到材料的本征光致发光和杂质发光结构,并观察到在非故意掺杂0.21 HgCdTe 中的4meV杂质能级的存在,它来源于材料生长过程中的剩余杂质。

致谢 作者感激沈文忠博士和李标博士的有益讨论。

REFERENCES

- [1] TANG Ding-Yuan. HgCdTe —a high-property optoelectronics material, *Paper collection of the basic research of application on HgCdTe*, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences (汤定元. HgCdTe ——一种性能优良的光电材料, 碲镉汞材料和器件的应用基础研究 95 论文集, 中国科学院上海技术物理研究所), 1995,
- [2] Griffiths P R, DE Haseth J A. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. New York: John Wiley & Sons, 1986
- [3] SHEN Xue-Chu. Fourier transform spectroscopy—introduction and progress, *Progress in Physics* (沈学础, 傅立叶变换光谱学—引论和进展, 物理学进展), 1982, 2: 275—321
- [4] SHEN Xue-Chu. The basic theory of Fourier transform spectroscopy, *Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopic Technique and Its Applications*, ed. WU Jin-Guang, Beijing: Science and Technical Document Press of China (沈学础. 傅里叶变换光谱学的基本原理, 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用, 吴瑾光主编, 北京: 科学技术文献出版社), 1994: 1—53
- [5] CHU J H, XU S Q, TANG D Y. Energy gap versus alloy composition and temperature in HgCdTe . *Appl. Phys. Lett.*, 1983, 43(11): 1064
- [6] CHU J H, LI B, LIU K Y, et al. Empirical rule of intrinsic absorption spectroscopy in HgCdTe . *J. Appl. Phys.*, 1994, 75(2): 1234
- [7] CHU J H, MI Z Y, TANG D Y. Band to band optical absorption in narrow-gap HgCdTe semiconductors. *J. Appl. Phys.*, 1992, 71(8): 3955
- [8] Schacham S E, Finkman E. Recombination mechanism in p-type HgCdTe : freezeout and background flux effects. *J. Appl. Phys.*, 1985, 57: 2001
- [9] Capper P. Properties of narrow gap cadmium-based compounds, *EMIS Datareview Series*, No. 10, London: INSPEC, 1994